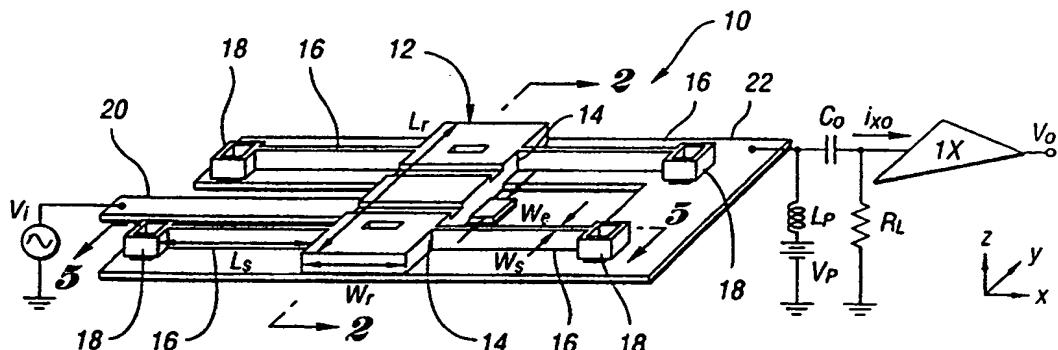




## INTERNATIONAL APPLICATION PUBLISHED UNDER THE PATENT COOPERATION TREATY (PCT)

(51) International Patent Classification <sup>7</sup> :	A1	(11) International Publication Number:	WO 00/42705
H03H 9/24		(43) International Publication Date:	20 July 2000 (20.07.00)

(21) International Application Number:	PCT/US00/00932	(81) Designated States: AE, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, CA, CH, CN, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, EE, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, NO, NZ, PL, PT, RO, RU, SD, SE, SG, SI, SK, SL, TJ, TM, TR, TT, TZ, UA, UG, UZ, VN, YU, ZA, ZW, ARIPO patent (GH, GM, KE, LS, MW, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZW), Eurasian patent (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), European patent (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE), OAPI patent (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).
(22) International Filing Date:	14 January 2000 (14.01.00)	
(30) Priority Data:		
60/115,882	14 January 1999 (14.01.99)	US
(71)(72) Applicants and Inventors:	NGUYEN, Clark, T.-C. [US/US]; 3000 Whisperwood Drive, Apt. # 302, Ann Arbor, MI 48105 (US). MCCORQUODALE, Michael [US/US]; 1156 McIntyre Drive, Ann Arbor, MI 48105 (US). WANG, Kun [CN/US]; 2232-8 Cram Place, Ann Arbor, MI 48105 (US).	
(74) Agents:	SYROWIK, David, R. et al.; Brooks & Kushman, 1000 Town Center, Twenty-Second Floor, Southfield, MI 48075 (US).	
(54) Title:	DEVICE INCLUDING A MICROMECHANICAL RESONATOR HAVING AN OPERATING FREQUENCY AND METHOD OF EXTENDING SAME	



## (57) Abstract

A flexural-mode, micromechanical resonator utilizing a non-intrusive support structure to achieve measured Q's as high as 8,400 at VHF frequencies from 30–90 MHz is manufactured using polysilicon surface micromachining technology. Also, a method for extending the operating frequency of the resonator as well as other types of micromechanical resonators is disclosed. One embodiment of the method is called a differential-signaling technique. The other embodiment of the method is called a dimple-down technique. The support structure includes one or more torsional-mode support springs (16) in the form of beams that effectively isolate a resonator beam from its anchors (18) via quarter-wavelength impedance transformations, minimizing anchor dissipation and allowing the resonator to achieve high Q with high stiffness in the VHF frequency range. The resonator also includes one or more spacers (26) in the form of dimples formed on the flexural resonator beam (12) or the substrate. In operation, the dimples (26) determine a capacitive-transducer gap of the resonator. When a large DC-bias voltage is applied between a drive electrode (20) and the resonator beam (12), the dimples (26) provide a predetermined minimum distance between the flexural resonator beam (12) and the drive electrode (20).

(19)日本国特許庁 (JP)

(12) 公表特許公報 (A)

(11)特許出願公表番号

特表2002-535865

(P2002-535865A)

(43)公表日 平成14年10月22日(2002.10.22)

(51)Int.Cl.

H03H 9/24

識別記号

F I

H03H 9/24

マーク (参考)

Z

審査請求 有 予備審査請求 有 (全 37 頁)

(21)出願番号 特願2000-594196(P2000-594196)  
(86) (22)出願日 平成12年1月14日(2000.1.14)  
(85)翻訳文提出日 平成13年7月13日(2001.7.13)  
(86)国際出願番号 PCT/US00/00932  
(87)国際公開番号 WO00/42705  
(87)国際公開日 平成12年7月20日(2000.7.20)  
(31)優先権主張番号 60/115,882  
(32)優先日 平成11年1月14日(1999.1.14)  
(33)優先権主張国 米国(US)

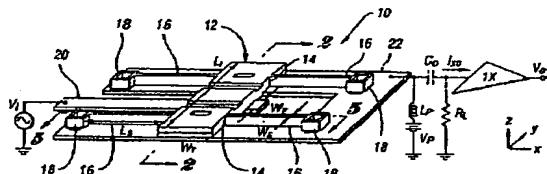
(71)出願人 ザ リーシェンツ オブ ザ ユニバーシティ オブ ミシガン  
アメリカ合衆国 ミシガン州 48109 アン アーバー サウス ステイト ストリート 3003  
(72)発明者 ギュイエン クラーク ティーラー アメリカ合衆国 ミシガン州 48105 アン アーバー ウィスパーウッド ドライヴ 3000 アパートメント #302  
(74)代理人 弁理士 中村 稔 (外9名)

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 動作周波数を有するマイクロメカニカル共振器を含むデバイス及び動作周波数を拡張する方法

(57)【要約】

30ないし90MHzのVHF周波数において8400程度の高さのQ測定値を達成するために非侵入型支持構造体を使用する撓みモードのマイクロメカニカル共振器がポリシリコン表面マイクロ加工技術を使用して製造される。又、共振器及び他の形式のマイクロメカニカル共振器の動作周波数を拡張する方法も開示される。この方法の1つの実施形態は、差動シグナリング技術と称される。この方法の他の実施形態は、下方突起技術と称される。支持構造体は、ビームの形態の1つ以上のねじれモード支持スプリング(16)を備え、これは、1/4波長インピーダンス変換により共振器ビームをそのアンカー(18)から効果的に分離し、アンカー消散を最小にすると共に、共振器がVHF周波数レンジにおいて高いスチフネスで高いQを達成できるようにする。又、共振器は、撓み共振器ビーム(12)又は基体上に形成された突起の形態の1つ以上のスペーサ(26)も含む。動作中に、突起(26)は、共振器の容量性トランジスタキャップを決定する。大きなDCバイアス電圧が駆動電極(20)と共振器ビーム(12)との間に印加されると、突起(26)は、撓み共振



【特許請求の範囲】

【請求項1】 動作周波数を有するマイクロメカニカル共振器と、基体上に形成された共振器ビームとを備えたデバイスにおいて、

基体上に共振器ビームを支持するために基体に固定された非侵入型支持構造体を備え、この支持構造体は、上記共振器の動作周波数の有効 $1/4$ 波長に対応する大きさにされた少なくとも1つのねじれビームを含み、この少なくとも1つのねじれビームは、上記共振器ビームが横方向運動に対して実質的に抵抗を見ないように、上記共振器ビームの少なくとも1つの撓み節点に取り付けられ、そして上記共振器は、Qの高い共振器であることを特徴とするデバイス。

【請求項2】 上記共振器ビームの静電励起を許すように基体に形成された少なくとも1つの駆動電極を更に備え、上記共振器ビーム及び少なくとも1つの駆動電極は、それらの間に容量性トランジシューサギャップを形成する請求項1に記載のデバイス。

【請求項3】 ある高さを有し、上記少なくとも1つの撓み節点において共振器ビームと基体との間に延びる少なくとも1つのスペーサを更に備え、上記ギャップのサイズは、共振器ビームのブルダウン中における上記少なくとも1つのスペーサの高さに基づく請求項2に記載のデバイス。

【請求項4】 上記共振器は、シリコンをベースとする共振器である請求項1に記載のデバイス。

【請求項5】 上記共振器は、ダイアモンドをベースとする共振器である請求項1に記載のデバイス。

【請求項6】 高いQを有する撓みモードのマイクロメカニカル共振器デバイスにおいて、

基体と、

少なくとも1つの撓み節点を有する共振器ビームと、

上記共振器ビームを少なくとも1つの撓み節点に支持するための少なくとも1つのねじれビームと、

上記少なくとも1つのねじれビームを基体に固定するための少なくとも1つの堅牢なアンカーと、

電気信号が付与された際に上記共振器ビームを振動させる少なくとも1つの駆動電極とを備え、上記少なくとも1つのねじれビームは、振動する共振器ビームを上記少なくとも1つの堅牢なアンカーから実質的に分離するためのインピーダンス変換を遂行する大きさとされることを特徴とするデバイス。

【請求項7】 上記共振器ビームと基体との間に延びる高さを有する少なくとも1つのスペーサを更に備え、上記共振器ビーム及び少なくとも1つの駆動電極は、容量性トランジシューサギャップを形成し、そしてこのギャップのサイズは、共振器ビームのブルダウン中における上記少なくとも1つのスペーサの高さに基づく請求項6に記載のデバイス。

【請求項8】 上記共振器は、シリコンをベースとする共振器である請求項6に記載のデバイス。

【請求項9】 上記デバイスは、ダイアモンドをベースとする共振器デバイスである請求項6に記載のデバイス。

【請求項10】 出力電流を感知するように基体に形成された感知電極を更に備えた請求項6に記載のデバイス。

【請求項11】 基体に形成された基本的共振モードを有する共振器ビームを含むマイクロメカニカル共振器の動作周波数を拡張する方法において、

上記共振器ビームの異なる部分を同時に逆方向に強制的に移動させて、共振器ビームが、基本的共振モードより高い共振モードmで振動するようにし、共振器ビームは、 $m+1$ 個の撓み偏向節点を有することを特徴とする方法。

【請求項12】 上記マイクロメカニカル共振器は、共振器ビームの静電励起を許すように共振器ビームに沿って離間された複数の駆動電極を含み、上記強制的に移動させる段階は、上記駆動電極の1つに同相信号を付与して共振器ビームの第1部分を第1方向に偏向し、そして他の駆動電極に位相ずれ信号を付与して共振器ビームの第2部分を上記第1方向とは逆の第2方向に偏向して、共振器ビームを強制的に正しいモード形状にする段階を含む請求項11に記載の方法。

【請求項13】 上記マイクロメカニカル共振器は、動作周波数の有効1/4波長に対応する大きさにされた $m+1$ 個のねじれビームを含み、そして共振器ビームが横方向運動又はねじれ運動に対する抵抗を実質的に見ないように共振器

ビームの各節点にねじれビームの1つが取り付けられる請求項11に記載の方法

【請求項14】 上記マイクロメカニカル共振器は、共振器ビームの静電励起を許すように基体に形成された駆動電極を含み、上記強制的に移動させる段階は、この駆動電極に信号を付与する段階を含み、共振器ビーム及び駆動電極は、それらの間に容量性トランシスジューサギャップを形成し、そして上記マイクロメカニカル共振器は、更に、ある高さを有し、 $m+1$ 個の節点において共振器ビームと基体との間に延びる $m+1$ 個のスペーサを含み、これら $m+1$ 個のスペーサは、駆動電極に信号を付与する間に共振器ビームを強制的に正しいモード形状にする請求項11に記載の方法。

【請求項15】 上記マイクロメカニカル共振器は、出力電流を感知するために基体に形成された感知電極を含む請求項14に記載の方法。

【請求項16】 上記マイクロメカニカル共振器は、共振器の動作周波数の有効 $1/4$ 波長に対応する大きさにされた $m+1$ 個未満のねじれビームを含み、そしてこのねじれビームは、それらが横方向運動又はねじれ運動に対して実質的に抵抗を見ないように共振器ビームの節点に取り付けられる請求項14に記載の方法。

【請求項17】 上記マイクロメカニカル共振器は、単一のねじれビームを含む請求項16に記載の方法。

**【発明の詳細な説明】**

**【0001】**

**【技術分野】**

本発明は、マイクロメカニカル共振器を含むデバイスに係り、より詳細には、動作周波数を有するマイクロメカニカル共振器を含むデバイス及び動作周波数を拡張する方法に係る。

**【0002】**

**【背景技術】**

現在のワイヤレス通信サブシステムには、それらのクオリティファクタQが高くそして温度安定性が顕著なことから周波数選択及び参照のために、クリスタル及びSAW共振器のような振動型メカニカルタンク部品が広く使用されている。しかしながら、これらのデバイスは、かさばる上に、通常は精密な加工を必要とし、それ故、高価である。オフチップ部品として最も重要なことは、これらメカニカルデバイスが、ボードレベルで集積電子装置にインターフェイスしなければならず、これが、ヘテロダイントランシーバの小型化及び性能にとって重大なボトルネックになることである。

**【0003】**

近年、ICに適合するポリシリコン表面マイクロ加工技術を使用して、マクロ型のものと同様の性能を有するマイクロメカニカル共振器（「 $\mu$ 共振器」と省略する）が紹介されている。真空状態でQが80,000以上でありそして中心周波数の温度係数が $-10 \text{ ppm}/\text{°C}$ の範囲（ナル技術の場合の数分の1）である場合には、多結晶シリコンの $\mu$ 共振器が種々の高Q発振器及びフィルタアプリケーションにおいてクリスタルに代わる小型のものとして充分に機能し得る。今日、数KHzないし数百KHzの周波数範囲で動作する高Qの折り返しビーム型 $\mu$ 共振器が、ニューエンC. T-C氏等により、「CMOSマイクロメカニカル共振発振器の設計及び性能(Design and Performance of CMOS Micromechanical Resonator Oscillators)」、Proceedings of the International Frequency Control Symposium, US, New York, IEEE, Vol. SYMP. 48, 1994、第127-134ページに掲載されている。しかしながら、通信アプリケーションでは、VHFレン

ジの I F フィルタのような高周波数共振器が必要とされる。

#### 【0004】

多結晶シリコンからメッキニッケルまでの種々の材料で形成された振動ビームのマイクロメカニカル（即ち「 $\mu$ メカニカル」）共振器が、近年、種々の周波数選択性通信アプリケーションに使用するための潜在的候補として出現している。特に、必要なVHF及びUHF周波数が得られるとすれば、低ロス I F 及びRFフィルタと、高Q発振器の両方は、小型サイズ、実質上ゼロのDC電力消費及びこれらデバイスの集積性から利益を得ることができる。

今日、小さなかさと高いスチフネスの両方が比較的容易に得られることから、クランプークランプ型ビームの $\mu$ メカニカル共振器がVHFレンジのアプリケーションに対して広範囲に試験されている。通信グレードの共振器では高いQと高いスチフネスが同時に得られることが重要である。というのは、スチフネスは、このような共振器で構成される回路のダイナミックレンジに直接影響するからである。しかしながら、クランプークランプ型ビーム設計の場合に、大きなスチフネスは、しばしば、大きなアンカー消散を犠牲にして得られ、ひいては、共振器のQが低くなる。

#### 【0005】

マクドナルド氏等の米国特許第5, 640, 133号は、キャパシタンスをベースとする同調型のマイクロメカニカル共振器を開示している。この共振器は、複数の電極を保持する可動ビームを備えている。又、この共振器は、複数の静止電極も備えている。動作中に、ビーム電極及び静止電極に印加される調整可能なバイアス電圧を使用して、共振器の共振周波数が調整される。

バーンズ氏等の米国特許第5, 550, 516号は、一体型の共振マイクロビームセンサ及びトランジスタ発振器を開示している。高いQ値を与えることできるセンサ及び発振器は、種々の回路、電極配置及び種々の構成のマイクロビーム形状を使用して、動作共振周波数を変更する。

#### 【0006】

アルブレッチ氏等の米国特許第5, 399, 232号は、一体型のピラミッド状尖端を有するマイクロ製造された片持梁式の針を開示している。片持梁アーム

に一体的に形成されたピラミッド状尖端は、アームの移動を尖端の方向に制限する。

グリフィン氏等の米国特許第4, 262, 269号は、共振器の位置を利用して所望の性能を与えるQ改善共振器を開示している。共振器は、所望のロス特性を得るために $1/4$ 波長の距離だけ分離される。

ファラス氏等の米国特許第4, 721, 925号は、シリコンウェハーからエッチングされたマイクロメカニカル電子発振器を開示している。この特許は、所望の特性に基づいて発振器を動作できるようにする構成及び回路について説明している。

一般的に、次の米国特許が本発明に関連している。

第4, 081, 769号；第4, 596, 969号；第4, 660, 004号；第4, 862, 122号；第5, 065, 119号；第5, 191, 304号；第5, 446, 729号；第5, 428, 325号、第5, 025, 346号；第5, 090, 254号；第5, 455, 547号；第5, 491, 604号；第5, 537, 083号；及び第5, 589, 082号。

#### 【0007】

##### 【発明の開示】

本発明の目的は、基体上に形成された高いQファクタのマイクロメカニカル共振器を含むデバイスであって、現在の商用トランシーバの周波数レンジを有するデバイスを提供すると共に、共振器の動作周波数を拡張する方法を提供することである。

本発明の別の目的は、基体上に形成された高いQファクタのマイクロメカニカル共振器を含むデバイスであって、公知共振器の基本的な撓みモードビーム設計を保持するが、戦略的にそれらの支持体を変更して、アンカー及びそれに関連したロスが設計から実質上排除されるようにしたデバイスを提供することであり、この解決策を使用して、中心周波数が30MHzないし90MHz以上で、高いスチフネスを有し、そしてQが8400程度の高さである自由-自由ビームのμメカニカル共振器が実証されている。

#### 【0008】

本発明の更に別の目的は、基体上に形成された高いQファクタのマイクロメカニカル共振器を含むデバイスであって、a) シリコンをベースとするブレーナーIC技術に適合し、b) SAW及びクオーツ共振器に比してサイズが何桁も減少され、c) 広いVHFレンジにおいて高いQを達成し、d) 収率改善設計を有し、そしてe) 良好的な温度安定性を有するデバイスを提供することである。このデバイスは、ワイヤレストランシーバ（例えば、セルラー電話、コードレス電話、GPS等）及び共振器ベースのセンサシステムに潜在的なアプリケーションを有する。

#### 【0009】

本発明の上記目的及び他の目的を達成する際には、動作周波数を有するマイクロメカニカル共振器と、基体に形成された共振器ビームとを含むデバイスが提供される。このデバイスは、基体上に共振器ビームを支持するために基体に固定された非侵入型支持構造体を備えている。この支持構造体は、共振器の動作周波数の有効 $1/4$ 波長に対応する大きさにされた少なくとも1つのねじれビームを含む。この少なくとも1つのねじれビームは、共振器ビームが横方向運動に対して実質的に抵抗を見ないように、共振器ビームの少なくとも1つの撓み節点に取り付けられる。共振器は、Qの高い共振器である。

本発明の実施形態において、共振器ビームの静電励起を許すために基体に少なくとも1つの駆動電極が形成される。共振器ビーム及び少なくとも1つの駆動電極は、それらの間に容量性のトランスジューサギャップを形成する。

#### 【0010】

ある高さを有する少なくとも1つのスペーサが、少なくとも1つの撓み節点において共振器ビームと基体との間に延びる。ギャップのサイズは、共振器ビームのプルダウン中に少なくとも1つのスペーサの高さに基づく。

好ましくは、共振器は、シリコンをベースとする共振器であるが、ニッケル又はダイアモンドをベースとするものでもよい。

更に、本発明の上記目的及び他の目的を達成する際には、高いQを有する撓みモードのマイクロメカニカル共振器デバイスが提供される。このデバイスは、基体と、少なくとも1つの撓み節点を有する共振器ビームとを備えている。又、こ

のデバイスは、共振器ビームを少なくとも1つの撓み節点に支持するための少なくとも1つのねじれビームと、この少なくとも1つのねじれビームを基体に固定するための少なくとも1つの堅牢なアンカーとを備えている。更に、このデバイスは、電気信号が付与された際に共振器ビームを振動させる少なくとも1つの駆動電極を備えている。少なくとも1つのねじれビームは、振動する共振器ビームを少なくとも1つの堅牢なアンカーから実質的に分離するためのインピーダンス変換を遂行する大きさとされる。

#### 【0011】

更に、本発明の上記目的及び他の目的を達成する際には、マイクロメカニカル共振器の動作周波数を拡張する方法が提供される。マイクロメカニカル共振器は、基体に形成された基本的共振モードを有する共振器ビームを含む。上記方法は、共振器ビームの異なる部分を同時に逆方向に強制的に移動させて、共振器ビームが、基本的共振モードより高い共振モード $m$ で振動するようにする段階を含む。共振器ビームは、 $m+1$ 個の撓み偏向節点を有する。

この方法の第1の実施形態では、マイクロメカニカル共振器は、共振器ビームの静電励起を許すように共振器ビームに沿って離間された複数の駆動電極を含む。上記強制的に移動させる段階は、駆動電極の1つに同相信号を付与して共振器ビームの第1部分を第1方向に偏向し、そして他の駆動電極に位相ずれ信号を付与して共振器ビームの第2部分を上記第1方向とは逆の第2方向に偏向して、共振器ビームを強制的に正しいモード形状にする段階を含む。

#### 【0012】

マイクロメカニカル共振器は、動作周波数の有効 $1/4$ 波長に対応する大きさにされた $m+1$ 個のねじれビームを含む。共振器ビームが横方向運動又はねじれ運動に対する抵抗を実質的に見ないように共振器ビームの各節点にねじれビームの1つが取り付けられる。

上記方法の第2の実施形態では、マイクロメカニカル共振器は、共振器ビームの静電励起を許すように基体に形成された駆動電極を含む。上記強制的に移動させる段階は、この駆動電極に信号を付与する段階を含む。共振器ビーム及び駆動電極は、それらの間に容量性トランジスチューサギャップを形成する。マイクロメ

カニカル共振器は、更に、ある高さを有し、 $m+1$  個の節点において共振器ビームと基体との間に延びる $m+1$  個のスペーサを含む。これら $m+1$  個のスペーサは、駆動電極に信号を付与する間に共振器ビームを強制的に正しいモード形状にする。

第2の実施形態では、マイクロメカニカル共振器は、通常、出力電流を感知するために基体に形成された感知電極も含む。

上記方法の第2の実施形態では、マイクロメカニカル共振器は、 $m+1$  個未満のねじれビームを含む。例えば、マイクロメカニカル共振器は、単一のねじれビームを含む。

#### 【0013】

##### 【発明を実施するための最良の形態】

本発明の上記目的、他の目的、特徴及び効果は、添付図面を参照した本発明の好ましい実施形態の詳細な説明から明らかとなろう。

添付図面を参照すれば、図1は、自由ー自由ビームの撓みモードの $\mu$ メカニカルデバイス即ち共振器を参考番号10で一般的に示すと共に、電気的ピックオフ機構を示す斜視図である。しかしながら、ほとんどの実際のアプリケーションでは1Xバッファが使用されないことを理解されたい。

図1に示すように、デバイス10は、4本のねじれビーム16により撓み節点14に支持された自由ー自由 $\mu$ メカニカル撓みビーム12を備え、各ねじれビーム16は、図5a-5bに最も良く示すように、堅牢なコンタクトアンカー18により基体19に固定される。基体19は、以下に述べるように、多数の層を含むのが好ましい。しかしながら、本発明から逸脱せずに、単一のねじれビームを単一の堅牢なコンタクトアンカーと共に使用してもよいことを理解されたい。この場合に、単一のねじれビームは、撓みビームを単一の撓み節点において支持する。

#### 【0014】

駆動電極20が自由ー自由ビーム12の下に設けられ、AC電圧 $V_1$ の印加により静電気励起を行えると共に、出力電流は、DCバイアスされた( $V_p$ を経て)共振器構造体22から直接検出される。このデバイス10のねじれ支持ビーム

16は、自由一自由ビーム12を堅牢なアンカー18から分離するインピーダンス変換を行うために、1/4波長寸法で戦略的に設計される。理想的には、自由一自由ビーム12は、その支持体即ちビーム16に向かってゼロインピーダンスを見、従って、実際には、あたかも支持なしに浮かび上がったかのように動作する。その結果、従来のクランプークランプビーム共振器に通常見られるアンカー消散メカニズムが著しく抑制され、デバイスのQを著しく高くすることができる。しかしながら、ブッシューブル励起を行うように多数の駆動電極が使用されてもよいことを理解されたい。この場合には、感知、周波数同調及び出力の検出のための電極も使用できる。

#### 【0015】

付加的な収率及びQ改善特徴として、このデバイスにおけるトランスジューサキャバシタギャップ間隔は、従来のクランプークランプビームの高周波数デバイスにおいて（困難を伴って）行われていたように、薄い犠牲的な酸化物を介して完全に決定されるのではない。むしろ、キャバシタギャップ24は、ここでは、タイミングを合わせたエッチングにより設定されるスペーサ即ち突起26の高さによって決定される。図2に示すように、突起26の高さは、駆動電極20と共振器ビーム12との間に充分に大きなDCバイアス $V_p$ が印加されたときに、全構造体が下降して突起26にのせられ、突起26は、撓み節点14に位置され、従って、共振器の動作にほとんど影響しないというものである。スペーサ26は、共振器ビーム12に形成されてもよいし、又は基体19に形成されてもよい。

#### 【0016】

キャバシタギャップ間隔24を設定するために突起を使用する効果は、2つある。即ち（1）非常に厚い犠牲的な酸化物スペーサを使用して、超薄型犠牲層におけるピンホール及び非均一性による従来の問題を軽減することができ、そして（2）厚い犠牲的な酸化物は、従来の薄いものより除去が容易であり、従って、必要なHF解除エッチング時間（図5bに示す）を短縮し、そしてエッチングの副産物がギャップ24に残留する（そこでそれらが共振器の動作及びQに干渉する）機会を少なくする。しかしながら、単一のスペーサ又は突起、並びに3つ以上のスペーサを使用してもよいことを理解されたい。通常、多数のスペーサ又は突起

は、以下で詳細に述べるように、デバイスのより高いモード動作に使用される。

【0017】

自由一自由ビームの $\mu$ 共振器設計

本発明の自由一自由ビームの $\mu$ メカニカル共振器デバイス10の適切な設計は、所与の周波数を発生する幾何学形状の選択を伴うだけでなく、支持分離を確保し、下方突起(dimple-down)及び引き込み(pull-in)安定性を保証し、そしてより複雑な支持ネットワークに関連したスブリアスマードを抑制する幾何学形状の選択も伴う。これらの各事柄について以下に説明する。

【0018】

共振器ビーム設計

ほとんどの実際的な設計の場合に、共振器ビームの巾 $W_r$ は、トランジューサ及び長さ対巾比の設計事項により決定され、一方、その厚み $h$ は、主としてプロセス制約により決定される。ほとんどはデフォルトによるものであり、従つて、長さ $L_r$ は、全体的な共振周波数を設定するための主たる変数となる。 $L_r$ 対 $W_r$ 及び $L_r$ 対 $h$ の比が大きい場合には、自由一自由ビームの基本モード周波数に対する次のような一般的なオイラーーベルヌイ方程式で充分である。

【数1】

$$f_0 = \frac{1}{2\pi} \alpha \sqrt{\frac{k_{ri}}{m_{ri}}} = \frac{1}{2\pi} \alpha \sqrt{\frac{k_{mi}}{m_{ri}}} (1 - \left< \frac{k_e}{k_m} \right>)^{1/2} \quad (1)$$

但し、 $k_{ri}$ 及び $m_{ri}$ は、各々、 $\mu$ 共振器ビーム12の中間点における有効スチフネス(剛性)及び質量であり、 $\alpha$ は、ビームのトポロジー及びアンカー18における有限弹性を考慮する適合パラメータであり、 $k_{mi}$ は、これもビーム12の中間点における $\mu$ 共振器の機械的スチフネスであるが、今度は、 $V_p = 0$  Vの特殊なケースに対するものであり、次の式で表される。

【数2】

$$k_{mi} = [1.03 \sqrt{\frac{E}{\rho}} \frac{h}{L_r^2}]^2 m_{ri} \quad (2)$$

そして  $\langle k_s / k_m \rangle$  は、電極巾  $W_s$  にわたって一体化された機械的・電気的合成スチフネス比を表すパラメータで、次の関係を満足する。

【数3】

$$\langle \frac{k_s}{k_m} \rangle = \int_{\frac{1}{2}(L-W_s)}^{\frac{1}{2}(L+W_s)} \frac{V_p^2 \epsilon_0 W_r}{d^3 k_m(y')} dy' \quad (3)$$

但し、 $\epsilon_0$  は、真空中の透磁率であり、 $d$  は、突起が下方に延びた状態での電極対共振器ギャップ間隔である。他の全ての幾何学的変数は、図1に示され、そして機械的スチフネス  $k_m$  の位置依存性について以下に明確に示す。

【0019】

式(1)は、ビーム長さがそれに対応する巾及び厚みより著しく長い低周波数設計に対して充分に機能する便利な閉じた形態の関係を構成する。ビーム長さがそれらの巾及び厚み寸法に接近し始めるところの高いVHF設計の場合には、オイラー-ベルヌイ方程式は、もはや正確でなくなる。というのは、せん断変位及び回転慣性を無視するからである。高いVHF  $\mu$  メカニカル共振器に対して正確なビーム長さを得るために、結合方程式の同時解を含むチモセンコによる設計手順が適当である。

【数4】

$$\frac{d}{dy} (EI_r \frac{d\Psi}{dy}) + \kappa AG (\frac{dz}{dy} \Psi) - j_r \frac{d^2\Psi}{dt^2} = 0 \quad (4)$$

$$m \frac{d^2z}{dt^2} - \frac{d}{dy} [\kappa AG (\frac{dz}{dy} \Psi)] - p(y, t) = 0 \quad (5)$$

但し、

$$I_r = \frac{W_r h^3}{12}, \quad G = \frac{E}{2(1+\nu)}, \quad \text{及び} \quad J_r = hW_r \frac{(h^2 + W_r^2)}{12} \quad (6)$$

そして  $I_r$  は、慣性モーメントであり、 $E$  は、構造物質のヤング係数であり、 $\nu$  は、ボアソン比であり、 $\kappa$  は、形状ファクタであり（長方形断面の場合、 $\kappa$  は  $2/3$  である）、 $A$ 、 $m$ 、及び  $p(y, t)$  は、各々、ビームの断面積、単位

長さ当たりの質量、及び単位長さ当たりの荷重であり、 $\Psi$ は、曲げによる傾斜であり、そして軸の定義は、図1に示される。

【0020】

支持構造体の設計

上述したように、本発明の自由一自由  $\mu$  メカニカル共振器デバイス10は、図3に示した基本モード節点14に固定された4本のねじれビーム16により支持され、このビームは、次のモード形状方程式を評価することにより特定される。

【数5】

$$Z_{\text{mod.}}(y) = \cosh \beta y + \cos \beta y - \zeta [\sinh \beta y + \sin \beta y] \quad (7)$$

但し、

$$\zeta = \frac{\cosh \beta L_r - \cos \beta L_r}{\sinh \beta L_r - \sin \beta L_r} \text{ 及び } \beta^4 = \frac{\rho A}{EI_r} \omega_0^2 \quad (8)$$

そして  $\omega_0$  は、ラジアン共振周波数であり、 $\rho$  は、構造物質の密度である。基本モードの場合、 $\beta L_r$  は、4.73である。

ビーム16は節点14に取り付けられるので、支持スプリング即ちビーム16は、（理想的には）共振器の振動中に並進移動を持続せず、従って、クランプークランプビーム共振器により持続されたような並進移動による支持（即ち固定）ロスが著しく軽減される。更に、支持ねじれビーム16が、当該VHF周波数において実際には音響伝送線のように振舞うことを認識すれば、自由一自由ビーム12に対して実質上インピーダンスを与えないように支持体の寸法を戦略的に選択することによりねじれロスマカニズムを無効にすることもできる。より詳細には、共振器の動作周波数の有効  $1/4$  波長に対応するようねじれ支持ビーム16の寸法を選択することにより、支持ビーム16の片側における内実の固定状態が、共振器ビーム12に接続する他側の自由端状態に変換される。その結果、共振器ビーム12は、実際上、全く支持を「見ず」、そしてあたかもアンカー及びその関連ロスマカニズムがなく基体19上に浮いているかのように動作する。

【0021】

上記の変換は、おそらく、ねじれビーム16に対して等価音響ネットワーク

モデルを使用して容易に明らかとなろう。より詳細には、所与の支持ビーム 1 6 の寸法が共振器動作周波数の有効  $1/4$  波長に対応するときに、その等価音響ネットワークが図 4 b に示す形態をとり、ここでは、直列及び分路アームインピーダンスが、互いに逆の等しいスチフネス  $k_b$  及び  $-k_b$  によってモデリングされている。図 4 a のビーム 1 6 を B 側で固定することが、図 4 b の B ポートを短絡することに対応するとすれば、図 4 b の回路における残留  $k_b$  及び  $-k_b$  の打消しにより、ポート A に見られるインピーダンスがゼロになることが明らかである。

適当な音響ネットワーク分析により、ねじれビームの寸法は、次の式を満足するときには、動作周波数の  $1/4$  波長に対応することが分かった。

【数 6】

$$L_s = \frac{1}{4f_0} \sqrt{\frac{G\gamma}{\rho J_s}} \quad (9)$$

但し、添え字 s は、支持ビームを表し、

$$J_s = hW_s \left( \frac{h^2 + W_s^2}{12} \right)$$

そして  $\gamma$  は、ねじれ定数である。  
【0 0 2 2】

#### トランスジューサ設計

$\mu$  メカニカル共振器 1 0 の入力即ち駆動電極 2 0 に向かって見える直列運動抵抗  $R_z$  (他のインピーダンス素子の中で) の値は、フィルタ及び発振器の両アプリケーションにおいて最も重要である。従来の容量性変換型クランプークランプビーム  $\mu$  メカニカル共振器の場合のように、電極対共振器の重畠容量に直接影響する  $W_0$ 、 $W_z$  及び  $d$  のようなパラメータは、共振器 1 0 に印加される D C バイアス  $V_b$  と同様に、入力電極 2 0 に向かって見える電気的インピーダンスに直接保持されるものである。適当なインピーダンス分析により、この容量性変換される自由-自由ビーム  $\mu$  メカニカル共振器 1 0 の  $R_z$  を左右する式は、次の通りである。

【数 7】

$$R_z = \frac{V_i}{I_z} = \left[ \int_{L_1}^{L_2} \int_{L_1}^{L_2} \frac{\omega_0 Q V_p^2 (\epsilon_0 W_r)^2}{d^4 k_n(y')} \frac{Z_{mod_e}(y)}{Z_{mod_e}(y')} dy' dy \right]^{-1} \quad (10)$$

但し、中心電極20に対して  $L_1 = 0.5 (L_x - W_o)$  そして  $L_2 = 0.5 (L_x + W_o)$  である。

#### 【0023】

上述したように、通常の動作状態のもとでは、自由一自由ビーム共振器10は、共振器10に印加されるDCバイアス電圧  $V_p$  によりその支持突起26へプルダウンされねばならない。突起26が「ダウソ」であるときだけ、電極対共振器のギャップ間隔  $d$  は、ほとんどのアプリケーションに対して充分な電気機械的結合を与えるに充分なほど小さい。従って、デバイスの入力電極20を設計するときには、電極20に向かって見える入力インピーダンスだけでなく、突起26をプルダウンするに必要な  $V_p$  についても、入念に考慮しなければならない。この電圧  $V_p$  は、共振器ビーム12をその突起26に対して充分にプルダウンしながら、突起26がダウソとなった後に自由一自由ビーム12が電極20にプルダウンされるのを回避するに充分なほど小さくなければならない。典型的に、DCバイアス電圧  $V_p$  は、次の関係を満足しなければならない。

$$V_c > V_p > V_d \quad (11)$$

但し、  $V_d$  は、突起ダウソ電圧であり、そして  $V_c$  は、共振器プルダウン電圧である。

#### 【0024】

共振器10をその突起26に対してプルダウンするときには、支持ビーム16がほとんどの場合に自由一自由共振器ビーム12より著しくコンプライアンスがあるので、共振器ビーム12自体にはほとんど曲がりが発生しない。従って、プルダウンを防止する復帰力は電極20にわたって均一であり、そして突起ダウソ電圧  $V_d$  は、次の式で表される。

#### 【数8】

$$V_d = \sqrt{\frac{8}{27} \frac{k_r d_{mi}^3}{\epsilon_0 W_r W_e}} \quad \text{但し、} k_r = EW_r \left(\frac{h}{L_r}\right)^3 \quad (12)$$

但し、 $k_r$ は、支持ビーム16のスチフネスであり、そして $d_{mi}$ は、初期ギャップ（即ち図2a）であり、その後、ビーム12は、その突起26に対してダウンされる（即ち図2b）。

突起26がダウンされると、電極20に向かう共振器ビーム12の更なる移動が、共振器ビーム12自体の曲げにより得られる。ここで、電極20は、ブルダウングを防止する分布したスチフネスを見、これは、ここでは、破壊的な共振器ブルダウング電圧 $V_c$ を正確に予想するために電極面積にわたって積分されねばならない。従って、 $V_c$ を決定する手順は、設定(3)を1に等しくし、そして $V_p$ 変数に対して解くことである。

#### 【0025】

##### デバイスの製造

周波数が30-39MHzで、種々の初期ギャップ及び突起深さをもつ多数の自由-自由ビーム $\mu$ 共振器が、上述した方法を用いて設計され、次いで、図5a及び5bに示すプロセスの流れで示された5マスクのポリシリコン表面マイクロ加工技術を使用して製造された。テーブルIは、図1に示されたパラメータ及び寸法を参照して、70MHzバージョンに対する設計データを要約するものである。

テーブルI：オイラー及びチモセンコの設計比較

パラメータ	オイラー ビーム	チモセンコ ビーム	単位
設計周波数 $f_o$	70	70	MHz
測定周波数 $f_o$	66.62	70.94	MHz
共振器ビーム長さ $L_r$	15.4	14.9	$\mu m$
共振器ビーム巾 $W_r$	6	6	$\mu m$
支持ビーム長さ $L_s$	13.4	13.3	$\mu m$
支持ビーム巾 $W_s$	1	1	$\mu m$

共振器スチフネス $k_{x1}$	55,638	53,901	N/m
共振器質量 $m_{x1}$	$2.88 \times 10^{-13}$	$2.79 \times 10^{-13}$	kg
初期ギャップ $d_{ini}$	1,500	1,500	Å
突起高さ $d$	1,000	1,000	Å
突起ダウン電圧 $V_d$	98	98	V
破壊的ブレイン電圧 $V_c$	255.9	268.9	V
ヤング係数 $E$	150	150	GPa
ポアソン比 $\nu$	0.29	0.29	—

#### 【0026】

製造シーケンスは、分離層30及び32が次々の成長により形成され、そして $2\mu m$ の熱酸化物及び $2000\text{Å}$ のLPCVD  $\text{Si}_3\text{N}_4$ が各々<100>の軽くドープされたp型出発シリコンウェハー34上に付着された状態で始まる。次いで、 $3000\text{Å}$ のLPCVDポリシリコンが $585^\circ\text{C}$ で付着され、インプランテーションを介して焼ドープされ、次いで、接地平面22及び相互接続部を形成するようにパターン化される。次いで、LPCVD犠牲的酸化物層38が、式(12)で指示される厚みまで付着され、その後、次々のマスキング段階を使用して、突起及びアンカー開口40を得る(図5a参照)。正確な深さを確保するために、突起は、 $\text{CF}_4$ 化学物質を使用して正確に制御された反応性イオンエッティングにより形成される。一方、アンカー18は、緩衝フッ化水素酸(BHF)の溶液中で単純に湿式エッティングされる。

#### 【0027】

次いで、構造用ポリシリコンが $585^\circ\text{C}$ でLPCVDを経て付着され、そして焼のドーパントがイオンインプランテーションにより導入される。次いで、 $2000\text{Å}$ 厚みの酸化物マスクが $900^\circ\text{C}$ でLPCVDを経て付着され、その後、ウェハーが $1000^\circ\text{C}$ で1時間アニールされ、ストレスを緩和すると共に、ドーパントを分散させる。次いで、酸化物マスク及び構造層の両方が、各々、 $\text{SF}_6/\text{O}_2$ 系及び $\text{Cl}_2$ 系のRIEエッティングによりパターン化され、そして構造体12及び16が $48.8$ 重量%のHF中で5分間のエッティングにより解除される。この解除エッティング時間は、突起作用型ギャップ間隔から利益が得られず、従って

、数百Åの犠牲的酸化物厚みを必要した従来のクランプークランプビーム共振器に要する時間（1時間以内）より著しく短い。

構造解除の後に、アルミニウムが蒸発され、そして直列抵抗を減少するためにリフトオフを介してポリシリコン相互接続部上にパターン化される。

#### 【0028】

##### 実験データ

実験データは、VHF周波数において高いスチフェスを有するクランプークランプビーム共振器の場合にアンカー消散が主たるロスマカニズムになっており、そして非侵入支持体16を有する自由一自由ビーム共振器10を使用すると、このロスマカニズムが相当に緩和されることを強く示唆している。

又、実験データは、クランプークランプビーム共振器は、周波数が50-70MHzから増加するにつれてQの低下を示すが、自由一自由ビーム共振器は、この周波数レンジにわたって非常に一定のQを維持することも示している。

#### 【0029】

##### 第1の結論

節点14に固定された1/4波長のねじれ支持体16と、電気的に作動され、突起で決定される電極対共振器ギャップ24とを組合せて使用すると、ここに開示する自由一自由ビームのμメカニカル共振器設計は、現在クランプークランプビーム共振器の妨げとなっているアンカー消散及び処理の問題を巧妙に解消し、そしてその際に、高Qのマイクロエレクトロメカニカルシステムのアプリケーション範囲を、より高い周波数への途中を割愛するために大きなQで中間VHFレンジまで首尾良く拡張する。本発明のμメカニカル共振器設計は、多くのセルラー及びコードレス通信サブシステムに使用される最も一般的なIFの幾つかを含む周波数レンジにおいて8000以上のQを達成し、そして発振器及びフィルタの両アプリケーションにおいて充分なダイナミックレンジを維持するのに必要な高いスチフェスを保ちながらそれを行う。

#### 【0030】

ここに述べるVHF周波数は、特に、この設計の観察されたQが、設計された周波数レンジ全体にわたって大きな値を維持し、周波数の増加に伴うロールオフ

をほとんど又は全く示さないと考えられるならば、 $\mu$ メカニカル共振器技術の最終的なレンジを何ら表すものではない。

上述した自由一自由ビーム  $\mu$ メカニカル共振器設計の周波数を拡張する方法について以下に説明する。特に、2つの技術を使用して高い振動モードを励起し、周波数の利得を実現することができる。これらの技術は、自由一自由ビーム設計に限定されない。これら技術は、実際には、種々の他の共振器設計に適用することができる。

上述したように、自由一自由ビーム  $\mu$ メカニカル共振器は、図3に示すようにその基本的モードで振動することにより動作できる。

#### 【0031】

幾何学的サイズを著しく減少する必要があるために、基本的モードで動作する自由一自由ビーム共振器の周波数を拡張することは困難である。しかしながら、図7a及び7bに示すように共振器ビームの高い共振モードを励起することにより、幾何学的サイズを減少せずに著しい周波数利得を得ることができる。

図7a及び7bには、第2及び第3モード励起が各々概念的に示されている。明らかに、各モードmに対し、 $m+1$ 個の撓み偏向節点が存在する。固定の幾何学的サイズに対しこれらのモード及び後続モードにより得られる周波数利得データがテーブル2に示されている。ここでは、100MHz基本モードデバイスに対する周波数利得も示されている。

テーブル11：モード番号に基づく周波数利得

モード	節点	$f_n/f_1$	$f_n(\text{MHz})$
1	2	1.000	100
2	3	4.730	473
3	4	7.853	785
4	5	10.996	1100
5	6	14.137	1414

#### 【0032】

これらの高いモードを励起するための1つの技術は、差動シグナリングを使用することである。図8に示すように、同相信号が電極50に印加されてある方向

のビーム偏向を誘起し、一方、位相ずれした信号が電極 5 1 に印加されてモード形状で示されたように逆方向のビーム偏向を誘起する。図 8 は、第 2 モード励起に対してこの技術を示すだけであるが、これは、基本的モードより大きないかなる振動モードにも容易に拡張される。

正しいモード形状が強制されるように保証するために、図 9 に示すように、各節点に少なくとも 1 つの  $1/4$  波長支持ビーム 5 4 が配置される。この  $1/4$  波長支持ビーム 5 4 は、その撓みビーム 5 6 に対してゼロのねじれモードインピーダンスを与えるように設計される。しかしながら、支持ビーム 5 4 は、著しい撓みモードインピーダンスを与える。それ故、ビーム 5 6 は、他のモード形状へと偏向することができない。図 9 は、このトポロジーを伴い 5 8 で一般的に示された第 2 モードデバイスの上から見た概略図である。

#### 【0033】

差動シグナリング技術の 1 つの欠点は、偶数次の共振モードの振動を感じることが困難なことである。この概念は、図 10 に最も良く示されている。両電極 5 0 及び 5 1 は、ビーム 5 6 を強制的に正しいモード形状にするのに使用されるので、信号は、図 10 に示すように、ビーム 5 6 から検出されるのが最も便利であり、ここで、キャパシタ C は、ビーム 5 6 からの信号を結合し、そしてインダクタ L は、バイアス電圧  $V_p$  を分離する。しかしながら、偶数次の共振モードに対してはビーム 5 6 から信号が出されない。これは、非対称的形状のためにビーム 5 6 の信号を効果的に打ち消すこれらモードに対するモード形状の性質によるものである。これは、対称的モード形状を有する奇数次モードには当てはまらず、それ故、差動シグナリング技術は、これらモードに良く適している。

#### 【0034】

上述した問題を克服するために別の技術を使用することができる。より詳細には、所与のモード形状に対し、各節点においてビーム 6 2 に小さな突起即ちスペーサ 6 0 が形成される。バイアス電圧 ( $V_p$ ) を印加すると、ビーム 6 2 がこれら突起 6 0 にのせられる。突起 6 0 は、ビーム 6 2 を強制的に正しいモード形状にする「柔軟な節」を形成する。この考え方は、ギターで自然の倍音を弾くのと実質的に同じである。この解決策は、「下方突起(dimple-down)技術」と称され

、図11にデバイス64と共に示されている。

振動の感知は、全共振モードに対して容易に達成される。というのは、正しいモード形状を強制するために両電極66及び68を使用することがもはや必要とされないからである。ここでは、突起60がピーム62をモード形状に強制し、印加される信号ではない。図11に示すように、一方の電極68は、デバイス64を駆動するのに使用でき、そして他方の電極66は、感知に使用できる。

#### 【0035】

又、下方突起技術は、モード形状が突起60のみによって強制されるので、少數の1/4波長支持ピーム（図示せず）の使用も許す。実際には、デバイス64に対して1つ程度の支持ピームを使用できる。

製造公差には限度があるために、1/4波長ピームは一定のエネルギー消散を示し、これは共振器のクオリティファクタを減少させる。それ故、この消散メカニズムを最小限にすることが最重要である。上述した下方突起技術及び単一支持ピーム（多數の支持体ではなく）の使用は、この消散メカニズムを最小にし、それ故、上述した差動シグナリング技術よりも良好な性能を与える。

#### 【0036】

##### 第2の結論

自由一自由ピーム $\mu$ メカニカル共振器及び他の共振器の高モード動作によって周波数を拡張する2つの技術又は方法について説明した。差動シグナリング技術は、奇数次モードに対して最も適しており、一方、下方突起技術は、いかなるモード形状にも適している。しかしながら、性能について考えると、下方突起技術は、少數の1/4波長支持ピームが必要とされるだけであり、それ故、エネルギー消散が最小となるので、優れている。

以上、本発明の好ましい実施形態を詳細に説明したが、これらの実施形態は、本発明の考えられるあらゆる形態を示すものではない。むしろ、ここで使用した用語は、説明のための用語であって、それに限定されるものではなく、本発明の精神及び範囲から逸脱せずに種々の変更がなされ得ることを理解されたい。

##### 【図面の簡単な説明】

##### 【図1】

本発明の非侵入型支持構造体をもつ自由一自由ビーム共振器の概略斜視図で、典型的なバイアス、励起、及びオフチップ出力感知回路を示す図である。

【図2 a】

図1の2-2線に沿った製造後の共振器の断面図である。

【図2 b】

図2 aと同様であるが、適当な大きさのDCバイアス電圧 $V_p$ を印加した後の図である。

【図3】

一対の節点をもつ静的状態にある自由一自由ビームを示すと共に、その基本的モードでの振動を仮想線で示す側面図である。

【図4 a】

側部固定の共振器の1/4波長ねじれビームを示す概略斜視図である。

【図4 b】

図4 aのビームに等価な音響ネットワークの回路図で、ポートAがゼロインピーダンスで、ポートBが接地された状態を示す図である。

【図5 a】

図1の5-5線に沿った製造中の共振器のねじれビームを示す断面図である。

【図5 b】

図5 aと同様であるが、更に製造プロセスに沿って示す図である。

【図6】

本発明の92.25MHzの自由一自由ビーム共振器に対する測定スペクトルのグラフである。

【図7 a】

図3と同様であるが、ビームが3つの節点を有し、そしてその第2共振モードでの振動を仮想線で示した図である。

【図7 b】

図3及び7 aと同様であるが、ビームが4つの節点を有し、そして第3共振モードでの振動を仮想線で示した図である。

【図8】

共振器を第2共振モードで励起するための差動シグナリング方法を示す共振器の断面図である。

[图9]

各節点に配置された支持ビーム及び一対の電極を有する第2モード共振器を示す上方斜視図である。

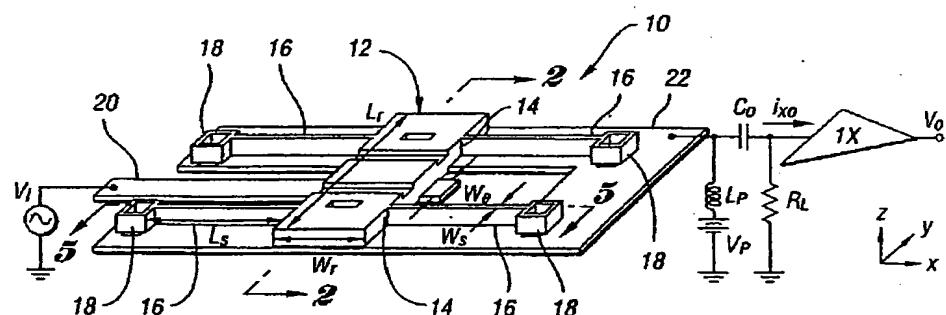
[図19]

共振器と、共振器のビームから外れた第2共振モードの振動を感知する感知回路とを示す断面図である。

图 1-1

共振器と、下方突起技術を用いて第2共振モードの振動を感じし、1つの電極を使用してデバイスを駆動しそして別の電極を使用して振動を感じするための感知回路とを示す断面図である。

[图 1]



*Fig. 1*

【図2 a】

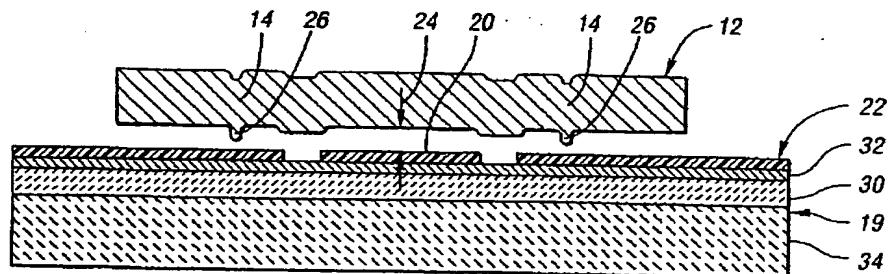


Fig. 2a

【図2 b】

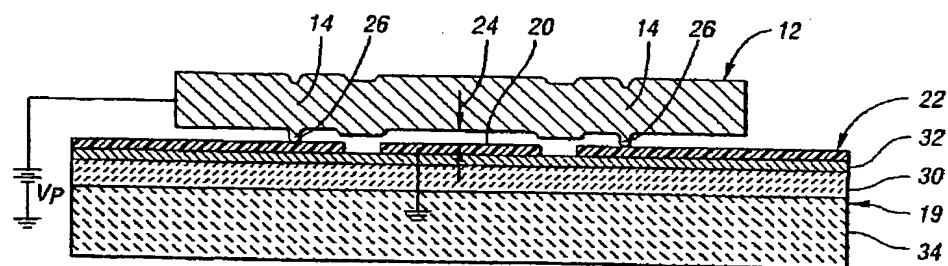


Fig. 2b

【図3】

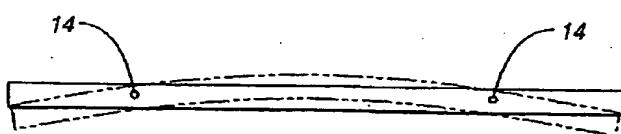


Fig. 3

【図4 a】

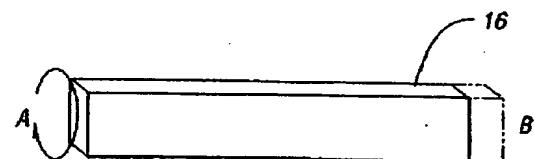


Fig. 4a

【図 4 b】

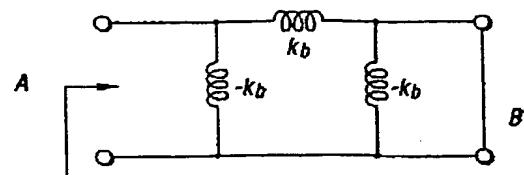


Fig. 4b

【図 5 a】

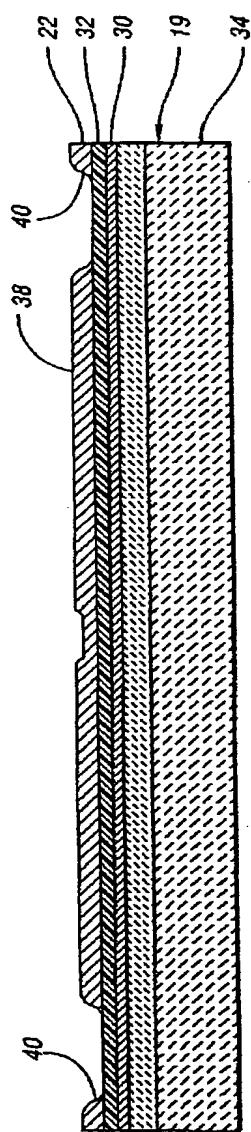


Fig. 5a

【図 5 b】

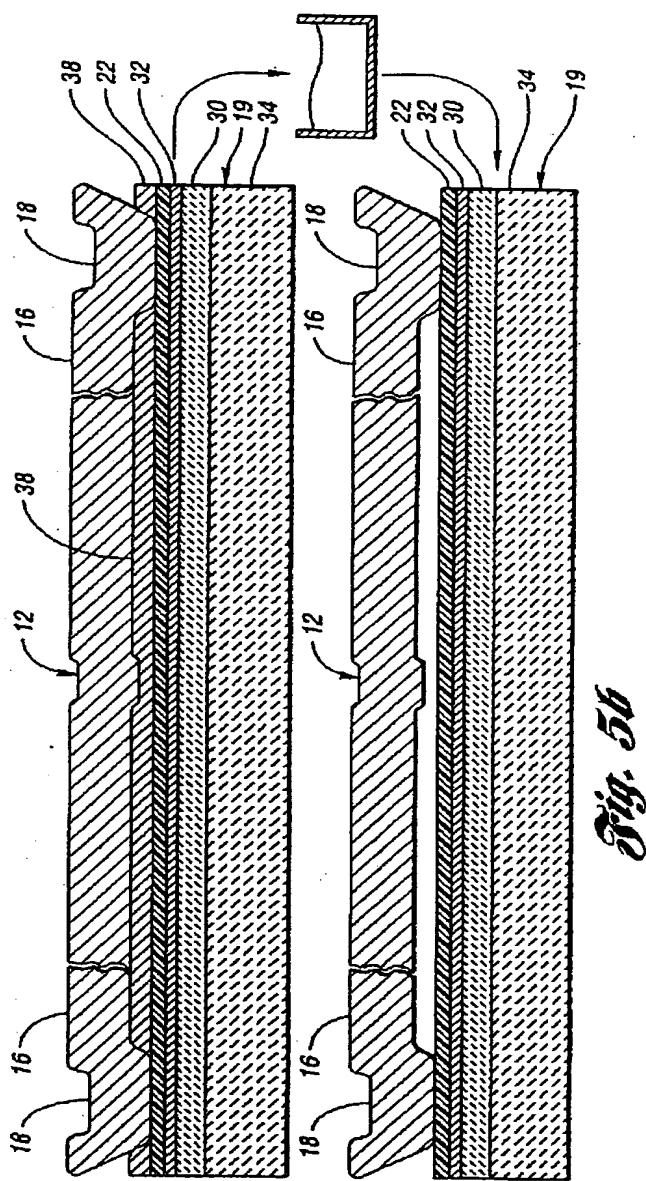
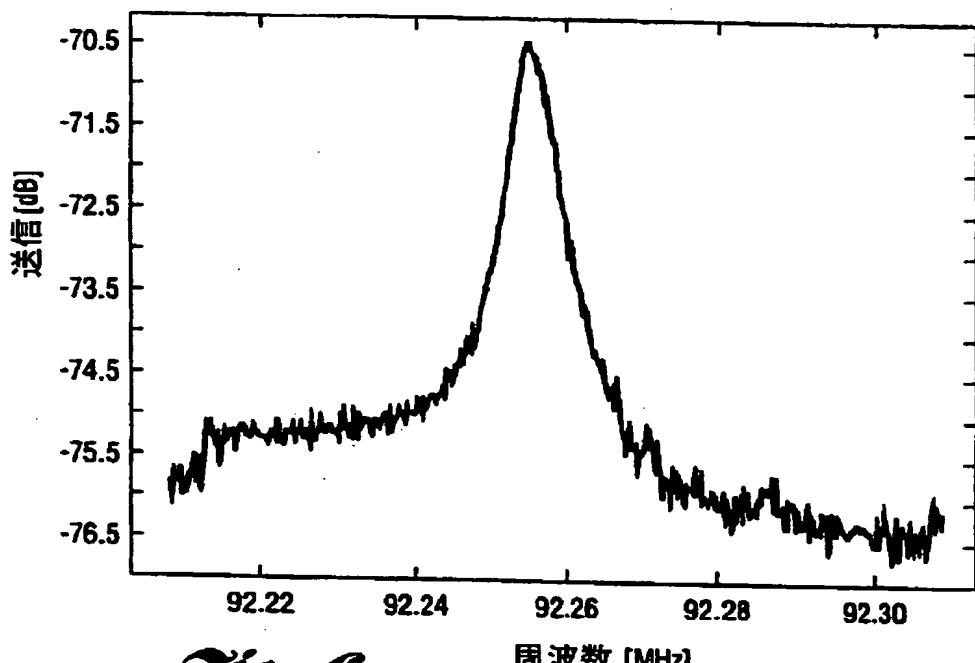


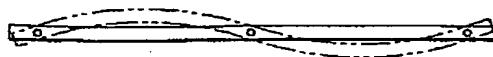
Fig. 5b

【図 6】



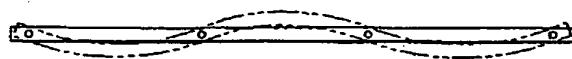
*Fig. 6*

【図 7 a】



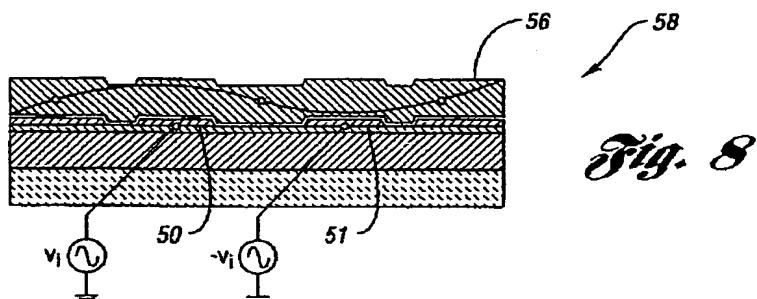
*Fig. 7a*

【図 7 b】



*Fig. 7b*

【図 8】



*Fig. 8*

【図 9】

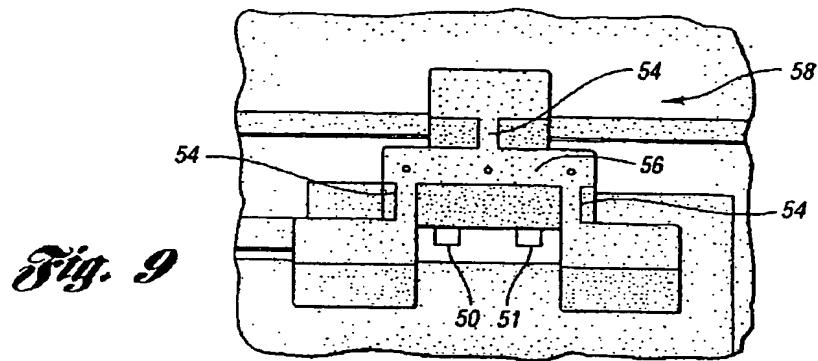


Fig. 9

【図 10】

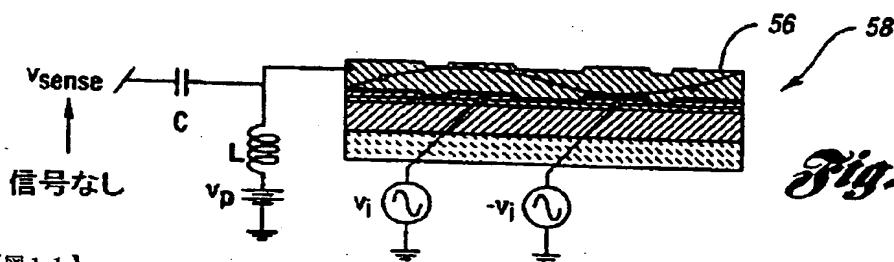


Fig. 10

【図 11】

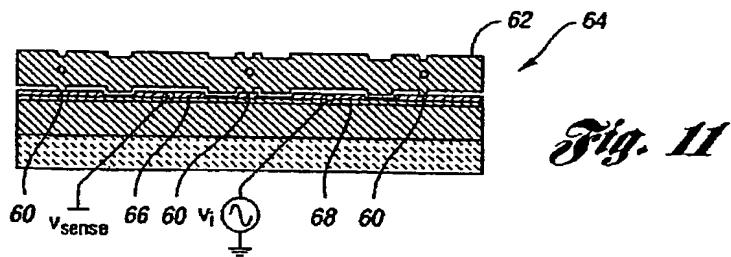


Fig. 11

【手続補正書】特許協力条約第34条補正の翻訳文提出書

【提出日】平成12年12月29日(2000.12.29)

【手続補正1】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】特許請求の範囲

【補正方法】変更

【補正の内容】

【特許請求の範囲】

【請求項1】 動作周波数を有し、基体(19)に形成された共振器(12;56;62)と、基体(19)上に共振器(12;56;62)を支持するために基体(19)に固定された支持構造体(16;18;54)とを備えたマイクロメカニカル共振器デバイス(10;58;64)において、

上記支持構造体(16;18;54)は、上記共振器(12;56;62)の少なくとも1つの節点(14)に取り付けられ、そして共振器(12;56;62)の振動中に共振器が分離されるような大きさにされ、共振器デバイス(10;58;64)がQの高い共振器デバイスとなるようにしたことを特徴とするマイクロメカニカル共振器デバイス。

【請求項2】 上記支持構造体(16;18;54)は、共振器(12;56;62)の節点(14)に取り付けられた少なくとも1つのビームを含む請求項1に記載のデバイス。

【請求項3】 上記共振器(12;56;62)の静電励起を許すように基体(19)に形成された少なくとも1つの駆動電極(20;50;51;68)を更に備え、上記共振器(12;56;62)及び少なくとも1つの駆動電極(20;50;51;68)は、それらの間に容量性トランジューサギャップ(24)を形成する請求項1に記載のデバイス。

【請求項4】 ある高さを有する少なくとも1つのスペーサ(26;60)を更に備え、各スペーサ(26;60)は、節点(14)において共振器(12;62)と基体(19)との間に延び、上記ギャップ(24)のサイズは、共振器(12;62)のブルダウン中における上記少なくとも1つのスペーサ(26;60)の高さに基づく請求項3に記載のデバイス。

【請求項5】 上記デバイス(10;58;64)は、シリコンをベースとする共振器デバイスである請求項1に記載のデバイス。

【請求項6】 上記デバイス(10;58;64)は、ダイアモンドをベースとする共振器デバイスである請求項1に記載のデバイス。

【請求項7】 出力電流を感知するように基体(19)に形成された感知電極(6)を更に備えた請求項3に記載のデバイス。

【請求項8】 基体(19)に形成された基本的共振モードを有する共振器(12;56;62)と、基体(19)上に共振器(12;56;62)を支持するために基体(19)に固定された支持構造体(16;18;54)とを備えたマイクロメカニカル共振器デバイス(10;58;64)の動作周波数を拡張する方法において、

上記共振器(12;56;62)の異なる部分を同時に逆方向に強制的に移動させて、共振器(12;56;62)が基本的共振モードより高い共振モード $m$ で振動するようにし、共振器(12;56;62)は、 $m+1$ 個の節点(14)を有し、そして上記支持構造体(16;18;54)は、共振器が共振器振動中に分離されるように節点(14)に取り付けられることを特徴とする方法。

【請求項9】 上記マイクロメカニカル共振器デバイス(58)は、共振器(56)の静電効起を許すように共振器(56)に沿って離間された複数の駆動電極(50;51)を含み、上記強制的に移動させる段階は、上記駆動電極の1つ(50)に同相信号を付与して共振器(56)の第1部分を第1方向に偏向し、そして他の駆動電極(51)に位相ずれ信号を付与して共振器(56)の第2部分を上記第1方向とは逆の第2方向に偏向して、共振器(56)を強制的に正しいモード形状にする段階を含む請求項8に記載の方法。

【請求項10】 上記支持構造体(16;18;54)は、動作周波数に基づいて大きさが決められた $m+1$ 個のビーム(16;54)を含み、そして共振器(12;56;62)が横方向運動又はねじれ運動に対する抵抗を実質的に見ないように共振器(12;56;62)の各節点(14)にビーム(16;54)の1つが取り付けられる請求項8に記載の方法。

【請求項11】 上記マイクロメカニカル共振器デバイス(64)は、共振器(62)の静電効起を許すように基体に形成された駆動電極(68)を含み、上記強制的に移動させる段階は、この駆動電極(68)に信号を付与する段階を含み、共振器(62)及び駆動電極(68)は、それらの間に容量性トランスジューサギャップを形成し、そして上記マイクロメカニカル共振器(64)は、更に、ある高さを有し、 $m+1$ 個

の節点(14)において共振器(62)と基体(19)との間に延びる $m+1$ 個のスペーサ(66)を含み、これら $m+1$ 個のスペーサ(60)は、駆動電極(68)に信号を付与する間に共振器(62)を強制的に正しいモード形状にする請求項8に記載の方法。

【請求項12】 上記マイクロメカニカル共振器デバイス(64)は、出力電流を感知するために基体に形成された感知電極(66)を含む請求項11に記載の方法。

【請求項13】 上記支持構造体(15;18;54)は、共振器デバイス(64)の動作周波数に基づいて大きさが決められた $m+1$ 個未満のビーム(16;54)を含み、そして共振器(62)が横方向運動又はねじれ運動に対する抵抗を実質的に見ないよう共振器(62)の各節点(14)にビーム(16;54)が取り付けられる請求項11に記載の方法。

【請求項14】 上記支持構造体(15;18;54)は、单一ビームを含む請求項12に記載の方法。

## 【国際調査報告】

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER IPC 7 H03H9/24		International Application No. PCT/US 00/00932
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
B. FIELDS SEARCHED		
Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) IPC 7 H03H		
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched		
Electronic data base consulted during the International search (name of data base and, where practical, search terms used)		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	NGUYEN C T -C ET AL: "DESIGN AND PERFORMANCE OF CMOS MICROMECHANICAL RESONATOR OSCILLATORS" PROCEEDINGS OF THE INTERNATIONAL FREQUENCY CONTROL SYMPOSIUM, US, NEW YORK, IEEE, vol. SYMP. 48, 1994, pages 127-134, XP000625520 ISBN: 0-7803-1946-X page 128, left-hand column, line 1 -page 129, left-hand column, line 22; figures 2-4	1,2,4,6
	-/-	
<input checked="" type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of box C.		<input checked="" type="checkbox"/> Patent family members are listed in annex.
* Special categories of cited documents :		
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance		
"E" earlier document but published on or after the International filing date		
"L" document which may throw doubts on priority, clarity(ies) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)		
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means		
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed		
Date of the actual completion of the international search  11 May 2000		Date of mailing of the International search report  23/05/2000
Name and mailing address of the ISA European Patent Office, P.B. 5010 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl Fax. (+31-70) 340-3016		Authorized officer  D/L PINTA BALLE., L

Form PCT/ISA210 (second sheet July 1992)

**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**

Int'l Application No  
PCT/US 00/00932

0(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	<p>WANG K ET AL: "Q-ENHANCEMENT OF MICROELECTROMECHANICAL FILTERS VIA LOW-VELOCITY SPRING COUPLING" IEEE ULTRASONICS SYMPOSIUM PROCEEDINGS, US, NEW YORK, NY: IEEE, 1997, pages 323-327, KP000848487 ISBN: 0-7803-4154-6</p> <p>paragraph '00III! paragraph '0III! figures</p>	1,4,6
A	<p>CLARK J R ET AL: "Parallel-resonator HF micromechanical bandpass filters" TRANSDUCERS 97. 1997 INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOLID-STATE SENSORS AND ACTUATORS. DIGEST OF TECHNICAL PAPERS (CAT. NO. 97TH8267), PROCEEDINGS OF INTERNATIONAL SOLID STATE SENSORS AND ACTUATORS CONFERENCE (TRANSDUCERS '97), CHICAGO, IL, USA, 16-19 JUN, pages 1161-1164 vol.2, XP002137475 1997, New York, NY, USA, IEEE, USA ISBN: 0-7803-3829-4</p> <p>paragraph '00III!; figure 1</p>	1,4,5
A	<p>BANNON F D III ET AL: "High frequency microelectromechanical IF filters" INTERNATIONAL ELECTRON DEVICES MEETING. TECHNICAL DIGEST (CAT. NO. 96CH35961), INTERNATIONAL ELECTRON DEVICES MEETING. TECHNICAL DIGEST, SAN FRANCISCO, CA, USA, 8-11 DEC. 1996, pages 773-776, XP000753840 1996, New York, NY, USA, IEEE, USA ISBN: 0-7803-3393-4</p> <p>paragraph '00III!; figures 2,3</p>	
A	<p>US 4 724 351 A (EERNISSE ERROL P ET AL) 9 February 1988 (1988-02-09) column 5, line 15 - line 55 column 7, line 36 - line 54 figures 7A-8B</p>	11
A	<p>US 5 589 082 A (LIN LINWEI ET AL) 31 December 1996 (1996-12-31) cited in the application column 4, line 39 -column 5, line 21; figure 4</p>	1,4,6
A	<p>US 5 640 133 A (MACDONALD NOEL C ET AL) 17 June 1997 (1997-06-17) cited in the application column 6, line 9 - line 36; figure 8</p>	1,4,6
	-/-	

2

Form PCT/US-4210 (continuation of second sheet) (July 1992)

page 2 of 3

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No.  
PCT/US 00/00932

## C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Claim or document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	US 5 090 254 A (SWIĘGOWSKI JEFFRY ET AL) 25 February 1992 (1992-02-25) cited in the application column 4, line 30 - line 58; figure 1	1,4,6

2

Form PCT/ISA/210 (continuation of second sheet) (July 1992)

page 3 of 3

**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**

Information on patent family members

Int'l. Search Application No.  
PCT/US 00/00932

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)		Publication date
US 4724351 A	09-02-1988	WO 8403998 A AT 78368 T CA 1209369 A EP 0144311 A JP 60501527 T		11-10-1984 15-08-1992 12-08-1986 19-06-1985 12-09-1985
US 5589082 A	31-12-1996	US 5537083 A US 6455547 A AU 5869994 A WO 9414240 A		16-07-1996 03-10-1995 04-07-1994 23-06-1994
US 5640133 A	17-06-1997	CA 2224402 A EP 0894218 A JP 11508418 T WO 9701221 A		09-01-1997 08-04-1998 21-07-1999 09-01-1997
US 5090254 A	25-02-1992	AT 125040 T DE 69111118 D DE 69111118 T EP 0451992 A JP 2017572 C JP 5332852 A JP 7006852 B US 5188983 A		15-07-1995 17-08-1995 23-11-1995 16-10-1991 19-02-1996 17-12-1993 30-01-1995 23-02-1993

Form PCT/US/A210 (patent family annex) (July 1992)

---

フロントページの続き

(81) 指定国 EP(AT, BE, CH, CY,  
DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, I  
T, LU, MC, NL, PT, SE), OA(BF, BJ  
, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GW, ML,  
MR, NE, SN, TD, TG), AP(GH, GM, K  
E, LS, MW, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZW  
, EA(AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU,  
TJ, TM), AE, AL, AM, AT, AU, AZ,  
BA, BB, BG, BR, BY, CA, CH, CN, C  
R, CU, CZ, DE, DK, DM, EE, ES, FI  
, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID,  
IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, K  
Z, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA  
, MD, MG, MK, MN, MW, MX, NO, NZ,  
PL, PT, RO, RU, SD, SE, SG, SI, S  
K, SL, TJ, TM, TR, TT, TZ, UA, UG  
, UZ, VN, YU, ZA, ZW

(72) 発明者 マッコークオデイル マイケル

アメリカ合衆国 ミシガン州 48105 ア  
ン アーバー マッキンタイア ドライヴ  
1156

(72) 発明者 ワン クン

アメリカ合衆国 ミシガン州 48105 ア  
ン アーバー クラム ブレイス 2232-  
8

【要約の続き】

器ビーム(12)と駆動電極(20)との間に所定の最小距離を  
与える。